การออกแบบและสร้างเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

นายสมจินต์ ธนานันทศิริ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC FACETING MACHINE FOR PRECIOUS STONES

Mr.Somjin Thanananthasiri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

192113

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ
โดย	นายสมจินต์ ธนานันทศิริ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชทิน จันทร์เจริญ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ)

นายสมจินต์ ธนานันทศิริ : การออกแบบและสร้างเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ (DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC FACETING MACHINE FOR PRECIOUS STONES)
อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, 94 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างเครื่องเจียระไนพลอย โดยเครื่องเจียระไนพลอยที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นเครื่องที่มีแกนการเคลื่อนที่ทั้งหมด 6 แกน โดยมีแกนที่จะต้องทำการควบคุมการเคลื่อนที่แบบแม่นยำอยู่ 4 แกน ซึ่งถูกควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และแกนที่ต้องควบคุมการเคลื่อนที่แบบปกติ 2 แกน คือแกนการหมุนเปลี่ยนจานเจียระไนและแกนการหมุนของจานเจียระไน ตัวเครื่องประกอบด้วยจานเจียระไน 3 จาน ทำให้สามารถทำการเจียระไนได้ทั้ง 3 ระดับ คือ เจียระไนหยาบ เจียระไนกึ่งละเอียด และเจียระไนละเอียด

การทดสอบเครื่องเจียระไนพลอยที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้น ทดสอบโดยทำการเจียระไนเหลี่ยมกลม ซึ่งพลอยที่นำมาใช้ในการทดสอบคือ คิวบิค เซอร์โคเนีย ที่มีความแข็งระดับ 8.5 โมร์ 2 ชุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร และ 5.5 มิลลิเมตร ผลการทดสอบทั้ง 2 ชุดที่ได้จากการประเมินจากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ โดยใช้สัดส่วนของพลอยในการประเมิน ผลอยู่ในระดับปานกลางและดีตามลำดับ หากพิจารณาขนาดของพลอยในแต่ละกลุ่มการทดลอง พบว่าผลการพิจารณาไปในทิศทางเดียวกันและอยู่ในเกณฑ์การประเมินที่ดี

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต สมจินต์
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2549 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4670536221 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: FACETING MACHINE / GRINDING MACHINE / PRECIOUS STONES / GEMSTONES

SOMJIN THANANANTHASIRI : DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC FACETING MACHINE FOR PRECIOUS STONES.

THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.VIBOON SANGVERAPHUNSIRI, Ph.D, 94 pp.

This thesis describes the design and development of an automatic faceting machine. The faceting machine has 6 motion axes. Four axes are necessary for the grinding process and need to be controlled precisely. The motions of these four axes are controlled by a microcomputer control. The other two axes are the grinding wheels rotation and the grinding wheel table turning. There are 3 grinding wheels installed on a table used for rough grinding, semi-polish grinding, and polishing.

Cubic Zirconia is used as the testing gemstone. The hardness of the cubic zirconia is 8.5 Mohs. The test consists of two batches of 5.5 mm. and 8 mm. in diameter. The results of the experiment, which certified by the Gem and Jewelry Institute of Thailand (GIT), are in the level of good for 5.5 mm. and fair for 8 mm. The proportional ratio is a criterion in the measurement. But if we consider only the size uniformity in each batch, the output will be considered in the acceptable range.

Department....Mechanical Engineering....Student's signature.....Somjin Th.....

Field of study..Mechanical Engineering....Advisor's signature.....

Academic year .....2006.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาเสียสละเวลามาให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมถึงการสนับสนุนทางด้านเงินทุน อุปกรณ์และสถานที่ทำวิจัยด้วยดีมาตลอด ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ ที่ได้ให้ความสนับสนุนทั้งทางด้านเงินทุน และคำแนะนำด้านอัญมณี

ขอขอบคุณคุณวันชัย คุณต้น บริษัทวีว่า เจมส์ จำกัด ที่ได้ให้ความรู้ในด้านการเจียระไนพลอย รวมถึงอุปกรณ์ และตัวอย่างพลอย

ขอขอบคุณ พี่ทวี งามวิไลกร ที่ได้ให้ความช่วยเหลืออย่างสูง รวมถึงการให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาในหลายๆด้าน ขอขอบคุณ อาจารย์กรรมมันต์ ชูประเสริฐ ที่คำแนะนำในหลายๆเรื่อง นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณ เพื่อนๆ รุ่นพี่และรุ่นน้อง นิสิตปริญญาเอก และปริญญาโท รวมถึงบุคคลทุกคนที่มีส่วนช่วยให้งานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไม่ว่าจะทางตรงก็ดีทางอ้อม

ท้ายสุดนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณพ่อ คุณแม่ และทุกๆคนในครอบครัวที่ได้คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนทุกๆด้าน โดยเฉพาะทางด้านการเรียนและการดำรงชีวิตแก่ข้าพเจ้าอย่างดียิ่งมาโดยตลอดจนทำให้ข้าพเจ้ามีทุกวันนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 5

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 5

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ 5

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

2 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน การออกแบบและการผลิตเครื่องเจียระไนพลอยอัตโนมัติ 6

2.1 หลักการทำงานของเครื่องเจียระไนอัตโนมัติ 6

2.2 การออกแบบเครื่องเจียระไนอัตโนมัติ 7

2.3 การผลิตเครื่องเจียระไนอัตโนมัติ 12

2.3 รายละเอียดเครื่องเจียระไนอัตโนมัติ 16

3 ขั้นตอนในการเจียระไนพลอยโดยใช้เครื่องเจียระไนอัตโนมัติ 17

3.1 ขั้นตอนการคัดแยกชนิดและการแบ่งขนาด 18

3.2 ขั้นตอนการติดหินเข้ากับไม้ชุนโดยใช้แชลแล็ค และแต่งพลอย 18

3.3 ขั้นตอนการติดหินเข้ากับก้านติดพลอย (Drop-stick) โดยใช้กาว 19

3.4 ขั้นตอนการขึ้นรูปเบื้องต้น (Pre-shaping) ด้านก้นพลอย (Pavilion) 20

3.5 ขั้นตอนการใส่ก้านติดพลอย (Drop-stick) เข้ากับอุปกรณ์จับพลอยหลายหัว 20

บทที่		หน้า
	3.6 ขั้นตอนการเจียระไนด้านก้นพลอย (Pavilion)	21
	3.7 ขั้นตอนการกลับด้านพลอย	24
	3.8 ขั้นตอนการขึ้นรูปเบื้องต้น (Pre-shaping) ของด้านหน้าพลอย (Crown)	26
	3.9 ขั้นตอนการเจียระไนด้านหน้าพลอย (Crown)	26
	3.10 ขั้นตอนสุดท้าย	27
4 จลศาสตร์ของเครื่องเจียระไนพลอยอัตโนมัติ		28
	4.1 ฟอร์เวอร์สคิเนแมติกส์ (Forward Kinematics)	28
	4.2 อินเวอร์สคิเนแมติกส์ (inverse kinematics)	30
5 การทดลองและผลการทดลอง		32
	5.1 การทดลอง	32
	5.2 การทดลองกลุ่มที่ 1	32
	5.3 การทดลองกลุ่มที่ 2	35
	5.4 ผลการทดลอง	38
	5.5 ผลการทดลองกลุ่มที่ 1	39
	5.6 ผลการทดลองกลุ่มที่ 2	41
	5.7 การทดลองอื่นๆ	43
6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ		44
	6.1 บทสรุป	44
	6.2 ข้อเสนอแนะ	45
	6.1.1 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับโครงสร้างของเครื่องเจียระไนพลอยอัตโนมัติ	45
	6.1.2 ข้อเสนอแนะด้านโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม	45
รายการอ้างอิง		46
ภาคผนวก		47
	ภาคผนวก ก หลักการทำงานของระบบควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์	48
	ภาคผนวก ข คู่มือการใช้โปรแกรมสำหรับเครื่องเจียระไนอัตโนมัติ	56
	ภาคผนวก ค การใช้โปรแกรม CU-Solid ช่วยในการเจียระไน	89
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์		94

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1.1 มูลค่าการนำเข้าพลอยของไทยระหว่างปี 2543 – 2547 1

1.2 มูลค่าการส่งออกพลอยของไทยระหว่างปี 2543 – 2547 2

4.1 พารามิเตอร์ของเดนาวิต-ฮาร์เทนเบิร์ก (D-H Parameters) 28

5.1 ค่าตัวแปรต่างๆ ของการทดลองกลุ่มที่ 1 33

5.2 เวลาที่ทำการกดแซ่แต่ละเหลี่ยมบนแต่ละจานต่างๆ เป็นวินาที ของการทดลองที่ 1 34

5.3 ค่าตัวแปรต่างๆ ของการทดลองกลุ่มที่ 2 36

5.4 เวลาที่ทำการกดแซ่แต่ละเหลี่ยมบนแต่ละจานต่างๆ เป็นวินาที ของการทดลองที่ 2 37

5.5 เวลาที่ใช้ในการทดลองแต่ละการทดลอง 37

5.6 การเปรียบเทียบค่าที่ออกแบบกับที่วัดได้ของการทดลองที่ 1 40

5.7 การเปรียบเทียบค่าที่ออกแบบกับที่วัดได้ของการทดลองที่ 2 42

5.7 การเปรียบเทียบค่าที่ออกแบบกับที่วัดได้ของการทดลองที่ 2 42

ก.1 ค่าอัตราขยาย K_P, K_I และ K_D 55

ข.1 ความสัมพันธ์ของชื่อแกนกับตัวเลข 77

ข.2 Arithmetic Function 78

ข.3 Statistical Function 78

ข.4 Signal Processing Function 79

ข.5 Servo Processor Function 79

ข.6 Miscellaneous Function 80

ข.7 รายละเอียดคำสั่ง ptp 81

ข.8 รายละเอียดคำสั่ง jog 83

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 เครื่องเจียระไนพลอยของ Diamante	2
1.2 เครื่องเจียระไนพลอยของ Xristal	3
1.3 เครื่องเจียระไนแบบที่ใช้ในประเทศ	4
2.1 หลักการทำงานของเครื่องเจียระไนพลอยที่พัฒนาขึ้น	6
2.2 CAD Design (Conceptual Faceting Machine Model 1)	7
2.3 CAD Design (Conceptual Faceting Machine Model 1) ต่อ	8
2.4 จานเจียระไนสำหรับเครื่องทดสอบหลักการเจียระไนพลอยอัตโนมัติ	8
2.5 เครื่องทดสอบหลักการเจียระไนพลอยอัตโนมัติ	9
2.6 CAD Design (Conceptual Faceting Machine Model 2)	11
2.7 CAD Design (Conceptual Faceting Machine Model 2) ต่อ	12
2.8 ลักษณะขั้นตอนการสร้างชิ้นงานโดยใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย	13
2.9 เครื่องเจียระไนอัตโนมัติ (Chula Faceting Machine Model 2)	14
2.10 เครื่องเจียระไนอัตโนมัติ (Chula Faceting Machine Model 2) ต่อ	15
3.1 ภาพพลอยที่ติดบนไม้ชุน	18
3.2 พลอยที่ถูกแต่งและคัดขนาดแล้ว	19
3.3 การติดพลอยกับ Drop-stick	19
3.4 การทำ Pre-shaping	20
3.5 อุปกรณ์จับพลอยหลายหัว	21
3.6 การใส่ก้าน Drop-stick เข้ากับอุปกรณ์จับพลอยหลายหัว	21
3.7 การยึดอุปกรณ์จับพลอยหลายหัวเข้ากับเครื่องเจียระไนพลอย	22
3.8 การเจียระไนหยาบโดยเครื่องเจียระไนอัตโนมัติ	23
3.9 พลอยที่ผ่านการเจียระไนด้านก้นพลอย (Pavilion)	23
3.10 อุปกรณ์ช่วยในการกลับด้าน	24
3.11 อุปกรณ์ช่วยในการกลับด้านพร้อมใส่ก้าน Drop-stick	25
3.12 อุปกรณ์ช่วยในการกลับด้านในตู้อบรังสี UV	25
3.13 ก้าน Drop-stick ที่ผ่านการกลับด้านพลอย	26
3.14 พลอยที่ผ่านการเจียระไนด้วยเครื่องเจียระไนอัตโนมัติ	27
4.1 การติดแกนต่างๆ ของเครื่องเจียระไนพลอยอัตโนมัติ	28

ภาพประกอบ หน้า

5.1 ลักษณะเหลี่ยมกลม 32
5.2 พลอยหลังทำการทดลองที่ 1 34
5.3 ลักษณะเหลี่ยมกลม 35
5.4 พลอยหลังทำการทดลองที่ 2 36
5.5 พลอยที่ผ่านการเจียระไนทั้ง 2 การทดลอง 38
5.6 ผลการประเมินคุณภาพของการทดลองที่ 1 39
5.7 ผลการประเมินคุณภาพของการทดลองที่ 2 41
5.8 เหลี่ยมขั้น (Step cut) ที่ออกแบบด้วย CU-Solid 43
5.9 พลอยที่ผ่านการเจียระไนเหลี่ยมขั้น (Step cut) 43
ก.1 ส่วนประกอบภายในของมอเตอร์กระแสตรงแบบเซอร์โว 48
ก.2 รูปแผนภาพแสดงระบบไฟฟ้าเชิงกล (Electromechanical System) 49
ก.3 แผนภาพบล็อกของระบบไฟฟ้าเชิงกล (DC servo motor) 49
ก.4 รูปแผนภาพบล็อกแสดงระบบควบคุมแบบปิด 53
ก.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมและสัญญาณผิดพลาด 53
ข.1 เครื่องเจียระไนพลอยอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น 57
ข.2 ไอคอนของโปรแกรม SpiiPlus MMI 58
ข.3 การยืนยันการเชื่อมต่อ 58
ข.4 หน้าต่างของโปรแกรมการควบคุมเครื่องเจียระไนพลอยอัตโนมัติ 59
ข.5 หน้าต่างของ Safety Monitor 60
ข.6 Software Left Limit 61
ข.7 Software Right Limit 61
ข.8 การใส่ค่าความเร็วสูงสุด 62
ข.9 การใส่ค่าความเร่งสูงสุด 62
ข.10 การใส่ค่ากระแสสูงสุด 63
ข.11 หน้าต่าง Velocity loop 64
ข.12 ผลของ Velocity Loop Tuning 65
ข.13 หน้าต่าง Position Loop 66
ข.14 ผลของ Position Loop Tuning 67
ข.15 หน้าต่างโปรแกรมการส่งออกสัญญาณดิจิตอล 68
ข.16 หน้าต่างของการเชื่อมต่อ (Communication) 69

ภาพประกอบ หน้า

ข.17 หน้าต่างของ Motion Manager 70
ข.18 จำนวนแกนที่จะให้แสดงผล 70
ข.19 แกนที่เลือกใช้งาน 70
ข.20 หน้าต่าง Move to target 71
ข.21 หน้าต่าง Move Increment 72
ข.22 หน้าต่าง Jog 71
ข.23 หน้าต่าง Zero Feedback Position 72
ข.24 สัญลักษณ์ของสัญญาณไฟแสดงสถานะ 72
ข.25 หน้าต่างโปรแกรมป้อนคำสั่งโดยตรง 73
ข.26 หน้าต่างโปรแกรมในส่วนของบัฟเฟอร์ 74
ข.27 หน้าต่างของการโปรแกรม (Edit) 75
ข.28 ตัวแปรที่ถูกจองชื่อไว้แล้ว 76
ข.29 ผังงาน (Flow Chart) ของคำสั่งเงื่อนไข 85
ข.30 ผังงาน (Flow Chart) ของคำสั่งวนรอบ 87
ข.31 ตัวอย่างโปรแกรมการกลับจุดอ้างอิง (Home Position) 88
ค.1 พารามิเตอร์ในการเจียระไนพลอย 89
ค.2 การตัดรูปทรงด้วยระนาบจนได้โมเดลพลอยที่ต้องการ 90
ค.3 ข้อมูลความลึกเมื่อตัดเหลี่ยม Half ของก้นพลอยจนแหลม 91
ค.4 ข้อมูลความลึกเมื่อตัดเหลี่ยม Half ของก้นพลอยจนพอดี 92